Aus der
Chirurgischen Klinik der Universität zu Freiburg/Brsg.
Direktor: Prof. Dr. Rehn

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der

Medizinischen Doktorwürde

einer hohen medizinischen Fakultät

der

Albert Ludwigs-Universität zu Freiburg im Breisgau

vorgelegt von

Bernhard Bremer aus Dülmen.

Vergleichende Untersuchungen über Erwärmungen von einzelnen Körperstoffen, von Gliedmassen und Körperhöhlen bei Subaqualer Diathermie und im Ultrakurzwellen-Condensator-Feld.

Druck: Görres-Druckerei G. m. b. H. (Koblenzer Volkszeitung) Fernruf 1991-94
1933

Aus der
Chirurgischen Klinik der Universität zu Freiburg / Brsg.
Direktor: Prof. Dr. Rehn

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der

Medizinischen Doktorwürde

einer hohen medizinischen Fakultät

der

Albert Ludwigs-Universität zu Freiburg im Breisgau

vorgelegt von

Bernhard Bremer aus Dülmen.

Vergleichende Untersuchungen über Erwärmungen von einzelnen Körperstoffen, von Gliedmassen und Körperhöhlen bei Subaqualer Diathermie und im Ultrakurzwellen-Condensator-Feld.

Druck: Görres-Druckerei G. m. b. H. (Koblenzer Volkszeitung) Fernruf 1991-94
1933

Meinen lieben Eltern

in Dankbarkeit

gewidmet.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Vorbemerkungen.

Erst in den letzten Jahren hat die Tatsache allgemeine Anerkennung gefunden, daß bei der üblichen Diathermie-Behandlung praktisch nur eine Erwärmung der oberflächlichen Körperschichten erzielt werden kann. Es zeigte sich das besonders im Vergleich mit den Erwärmungen im „Kurzwellen"-Condensatorfeld, wo eine nahezu völlig gleichmäßige Erwärmung in allen Gewebstiefen besteht. Es ließ sich auch eine verschiedene Erwärmung einzelner Körperstoffe bei beiden Methoden feststellen.

Bei der bisherigen Diathermiebehandlung trat der erwärmende elektrische Strom unmittelbar über angelegte Platten-Elektroden in den Körper ein. Bei der „Kurzwellen"-Behandlung erfolgt der Uebertritt der elektrischen Energie über ein Dielektrikum (Luft, Hartgummi, Glas usw.), welches sich zwischen den stromzuführenden Platten befindet.

Die ersten Anfänge dieser Behandlungsmethode gehen auf das Condensatorbett von Apostoli und die Erwärmung in der Teslaspule zurück. Für die Verwendung von Strömen mit „kurzen" und „ultrakurzen" Wellenlängen wurde sie von Nagelschmidt, Schereschewski, Esau, Schliephake, Pätzold u. A. weiter ausgebaut.

Bereits 1928 wurde von Nagelschmidt darauf hingewiesen, daß man mit Strömen von niedereren Wellenlängen als den bisher bei der Diathermie gebräuchlichen eine wesentlich höhere Leistungsmenge auf kapazitivem Wege, d. h. über ein Dielektrikum, auf einen tierischen Körper übertragen kann. Besonders ausgesprochen findet sich diese Erscheinung bei den „ultrakurzen" Wellenlängen. Ob hierbei auch ein wattloser, kapazitiver Stromdurchgang durch den Körper stattfindet (Schl. Pä.), hat sich noch nicht eindeutig feststellen lassen. Auf jeden Fall steht fest, daß die Erwärmung selbst lediglich auf Joule'sche Wärmeverluste zurückgeführt werden kann; es handelt sich demnach bei der „Kurzwellen"-Behandlung ebenso wie bei der „Langwellen"-Diathermie praktisch um denselben Vorgang.

Mit der Bezeichnung „Wellenlänge" soll die Schwingungszahl, die Wechselstromfrequenz ausgedrückt sein[1]); es darf nicht irrtümlicherweise an eine Bestrahlung im üblichen Sinne des Wortes gedacht werden. Die für die „Ultrakurzwellen"-Behandlung benutzten elektrischen Ströme haben bei einer Wellenlänge von 3—15 m eine Frequenz von 100—20 Millionen Perioden in der Zeiteinheit, während die bisherigen Diathermie-Apparate mit einer Wellenlänge von 300—600 m, bzw. mit einer Frequenz von 1 000 000—500 000 arbeiten.

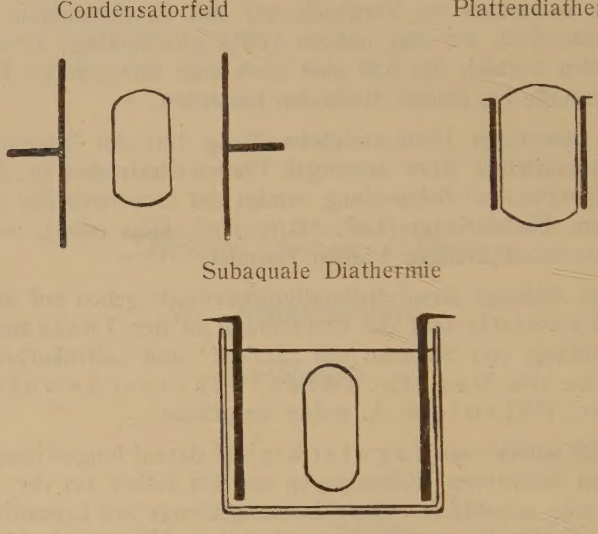
---

[1]) Dem allgemeinen Gebrauch entsprechend werden auch hier die vom Radio entlehnten Bezeichnungen „lange" Wellenlänge (etwa über 200 m = unter 1,5 Mill. Perioden), „kurze" (etwa unter 200 m = über 1,5 Millionen Perioden) und „ultakurze" (etwa unter 20 m = 15 Mill. Perioden) Wellenlänge verwendet.

Für die Diathermie mit „langen“ Wellen verwandte man in der Hauptsache Funkenstrecken-Generatoren. Die Erzeugung der hochfrequenten Wechselströme mit Lampen-Apparaten hat sich wegen der zu hohen Kosten nicht einbürgern können.

Zur „Kurzwellen“-Behandlung werden in der Regel „Ultrakurzwellen“-Röhrensender gebraucht. Sie erfolgt im Condensatorfeld des Sekundärkreises dieser Sender. In neuester Zeit werden auch für „ultrakurze“ Wellen Funkenstrecken-Generatoren hergestellt.

Abbildung 1.



Schema der Applikationsmöglichkeiten für die elektrische Energie.

Schliephake, der als Erster klinische Versuche mit der Esau-schen „Ultrakurzwellen“-Apparatur veröffentlicht hat, zeigte an einem Unterschenkel-Modell, daß bei der „Langwellen“-Diathermie mit Anlegen von Platten-Elektroden sich besonders stark die oberflächlichen Schichten des Körpers, vor allen Dingen unter den Platten erwärmten (40°), während die Temperatur des Muskels und des Knochens weit zurückblieb (10°); bei einer „Ultrakurzwellen“-Diathermie wurde im Gegensatz hierzu eine nahezu gleichmäßige Erwärmung aller Schichten gefunden (Haut 10°, Knochen etwa 7°). Weiterhin konnte Schl. durch einen Vergleich der Erwärmung einzelner, aus dem Körperzusammenhang herausgenommener Stoffe für beide Methoden zwei verschiedene Erwärmungsreihen aufstellen, aus denen ein deutlicher Unterschied in der Wirkung der beiden Behandlungen ersichtlich ist, welcher besonders durch die wesentlich höhere Erwärmung des Fettes bei der bisherigen Diathermie gegenüber der Condensatorfeld-Behandlung zum Ausdruck kommt.

Nicht zuletzt auf Grund dieser besonderen Wärmeverteilung und der beiden verschiedenen Wärmereihen wurde von Schl. angenommen, daß es sich bei der „Ultrakurzwellen“-Behandlung und der „Langwellen“-Diathermie

um einen grundsätzlich verschiedenen Erwärmungsvorgang handelt.

Physikalisch erklärt wurde dieser Vorgang dadurch, daß bei Verwendung von „langwelligen" Strömen nahezu ausschließlich ein Durchtritt der elektrischen Energie als leitender Strom erfolgen müsse, wo hingegen bei den „ultrakurzwelligen" Strömen (siehe oben) die Möglichkeit bestehen sollte, daß ein Teil der Energie auch kapazitiv, d. h. als nutzloser Strom durch den Körper hindurchtreten kann. Der Grad für diese Erscheinungen wäre abhängig von der Leitfähigkeit und der Dielektrizitätskonstante der einzelnen Gewebe und deren Beziehungen zu den verschiedenen Frequenzen. (Pä.)

Nach den Untersuchungen von Rhenisch ist die ungleichmäßige, vor allem an die Oberfläche gebundene Erwärmung bei der Platten-Diathermie nicht auf eine besondere Eigentümlichkeit der angewandten Ströme mit „langer" Wellenlänge zurückzuführen; die Ursache für diese eigentümliche Wärmeverteilung beruht vielmehr auf dem relativ hohen Uebergangswiderstand von Metall zur Haut (mangelhafter Contakt, Glimmverluste usw.), auf der beschränkten Stromeintrittsfläche und auf dem sich daraus ergebenden Stromliniengang (Spitzenwirkung, Randlinienwirkung). Dagegen konnten Rhenisch und v. Pannewitz dieselbe gleichmäßige Erwärmung wie bei der „Ultrakurzwellen"-Behandlung mit einer subaqual" angewandten „Langwellen"-Diathermie erzielen.

Das Wesentliche bei der Subaqualen Diathermie liegt in der Vermeidung der ungünstigen Applikationsverhältnisse bei der Platten-Diathermie, d. h. in der Beseitigung des Uebergangswiderstandes und in der Herstellung einer der Condensatorfeld-Methode entsprechenden, allseitigen, an keiner Stelle scharf begrenzten Uebertrittsmöglichkeit für die elektrische Energie.

Auch im mikroskopischen Bild zeigten sich die gleichen Zellveränderungen und Herdbildungen bei einem Vergleich von „Ultrakurzwellen"-Behandlung und subaqualer „Langwellen"-Diathermie. (Rh., Macherey.)

Die erwähnten, von Schl. gefundenen Unterschiede zwischen der bisherigen Diathermie und der „Ultrakurzwellen"-Behandlung müssen demnach vor allen Dingen auf die verschiedenen Uebertrittsverhältnisse für die elektrische Energie bei den beiden Methoden zurückgeführt werden, also auf die Art der Applikation. Irgendein Schluß darüber hinaus, in der Richtung, daß die Energie bei den „ultrakurzen" Wellen in einer qualitativ anderen Weise durch den Körper hindurchtritt als bei den „langen" Wellen, kann allein aus den oben erwähnten Versuchen jedenfalls niemals angenommen werden.

Fragestellung.

Erwärmungen einzelner Körperstoffe.

Bei den Erwärmungsversuchen mit einzelnen aus dem Zusammenhang gelösten Körperstoffen wurde auf Grund des oben Gesagten von der Erwägung ausgegangen, daß beide Behandlungsmethoden unter möglichst gleichen Vorbedingungen angewendet werden müßten, wenn man aus den Ergebnissen auch nur annähernde Schlüsse auf die spezifische Wirkung der verschiedenen hierbei benutzten Wechselströme ziehen wollte.

Bei dem von Schl. angestellten Vergleich zwischen „Ultrakurzwellen"-Condensatorfeld-Behandlung und „Langwellen"-Platten-Diathermie bestehen sehr ungleiche Versuchsbedingungen. Es ist oben erwähnt worden, wie maßgeblich durch den ungünstigen Uebergangswiderstand und die eng begrenzte Stromeintrittsfläche die Wärmeverteilung bei einer Platten-Diathermie gegenüber einer Condensatorfeld-Behandlung beeinflußt wird. Dazu kommt für die Erwärmung der einzelnen Körperstoffe, daß der elektrische Strom bei einer Platten-Diathermie gezwungen ist, seinen Weg allein durch den Körper zu nehmen, während bei der Condensatorfeld-Behandlung der Körper sich in einer Art Zwischenmedium zwischen den stromzuführenden Platten befindet, wodurch je nach den elektrischen Eigenarten des Objektes ein Einbiegen oder Ausweichen der elektrischen Kraftlinien ermöglicht wird.

Es war zu erwägen, ob nicht allein durch diese völlig anders gearteten Applikationsverhältnisse, Anlegen von Plattenelektroden einerseits und Behandlung im Condensatorfeld andererseits, auch die verschiedenartigen Erwärmungen bei den beiden Methoden zu erklären seien. Es ergab sich die Frage, inwieweit durch Ausschalten der für die Platten-Diathermie angeführten ungünstigen Vorbedingungen die von Schl. für „Langwellen"- und „Ultrakurzwellen"-Diathermie dargestellten Unterschiede in den Erwärmungen einzelner Körperstoffe ausgeglichen werden können.

Es war zunächst beabsichtigt, die Erwärmungen im Condensatorfeld bei „ultrakurzen" und im Condensatorfeld bei „langen" Wellenlängen miteinander zu vergleichen. Dies ließ sich jedoch technisch nicht durchführen, weil die Erwärmungsmöglichkeiten im „Langwellen"-Condensatorfeld zu gering waren. (s. o.)

Ein zweiter Weg war durch eine Gegenüberstellung von „Ultrakurzwellen"-Condensatorfeld-Behandlung und subaqualer „Langwellen"-Diathermie gegeben. Bei der Letzteren sind die schlechten Stromeintrittsbedingungen der Platten-Diathermie behoben, und dadurch Versuchsverhältnisse vorhanden, die weitgehend ausgeglichen sind.

In vielfachen Versuchen wurde die Einwirkung von Behandlungslösungen verschiedener Leitfähigkeit auf die Erwärmung der einzelnen Körperstoffe

untersucht. Von diesen wurde lediglich der eine über die Subaquale Diathermie in einer Lösung von gleichem Leitwert in die Arbeit aufgenommen.

Es besteht bei der Subaqualen Diathermie prinzipiell eine Mehrerwärmung des Körpers gegenüber der Lösung, wenn die Leitfähigkeit der Lösung etwas geringer ist, als die des Körpers. Die einzelnen Körperstoffe für sich haben nur eine wenig verschiedene spezifische Leitfähigkeit; diese wurde bezogen auf eine Kochsalzlösung bestimmter Conzentration. Es ergeben sich dabei Unterschiede entsprechend einer etwa 0,05—0,55% NaCl-Lösung bei 35°: Knochen = ca. 0,05%, Fett = ca. 0,17%, Gehirn = ca. 0,2%, Leber = ca. 0,3%, Muskel = ca. 0,5% und Körperflüssigkeiten etwa = 0,55% NaCl-Lösung. (R h.)

Für die praktische Anwendung bei der Behandlung ganzer Körperteile ist es ohne wesentlichen Einfluß, wenn als Behandlungslösung eine Durchschnittslösung benutzt wird. (s. u.)

Zur genauen Darstellung der Erwärmungen, welche bei den verschiedenen Körperstoffen auf Grund ihrer elektrischen Eigenschaften auftreten, ist es erforderlich, jeden Stoff für sich in der Lösung zu behandeln, welche etwa die gleiche spezifische Leitfähigkeit hat; jedes Ein- oder Ausbiegen der elektrischen Kraftlinien wird hier vermieden; Körper und Lösung bilden für den Stromdurchtritt gewissermaßen eine einheitliche Masse.

Falls auch die übrigen Werte bei den Versuchen gleich gehalten werden, dürfte es möglich sein, aus den Ergebnissen annähernd gültige Folgerungen auf die Einwirkungsweise der angewandten Wechselströme zu ziehen. Eine exakte physikalische Ausarbeitung der Fragen ging über den Rahmen dieser Arbeit hinaus. Bei einer solchen würde insbesondere auch der Wärmeausgleich durch die Lösung bei der Subaqualen Diathermie und durch die umgebende Luft bei der Condensatorfeld-Behandlung zu berücksichtigen sein.

Die ideale Versuchsanordnung wäre dabei der Vergleich einer Subaqualen Diathermie mit „ultrakurzen" mit einer Subaqualen Diathermie mit „langwelligen" Wechselströmen. Diese Versuche werden von Rhenisch weitergeführt.

Erwärmungen einzelner Körperteile und Körperhöhlen.

Bei der vergleichenden Erwärmung einzelner Körperteile und Körperhöhlen sollte die Wärmeverteilung in den verschiedenen Gewebsschichten untersucht werden.

Es sollte hierbei nachgesehen werden, ob für die praktische klinische Anwendung einer Subaqualen Diathermie und einer „Ultrakurzwellen"-Condensatorfeld-Behandlung mit einer gleichen Wärmewirkung zu rechnen ist, wie es von Rh. auf Grund seiner Versuche gefolgert worden war, — oder ob zwischen den beiden Methoden solche Unterschiede vorhanden sind, die es rechtfertigen würden, zwei im Hinblick auf ihren klinischen Wert getrennte Behandlungsarten zu unterscheiden.

Es sollte durch Vorversuche an einem Modell von einer gleichmäßigen, in ihren elektrischen Eigenschaften etwa den Körperverhältnissen entsprechen-

den Masse (Wurstmodell s. u.) geklärt werden, ob in diesem Fall bei beiden Methoden unter gleichen Bedingungen die gleiche Abgrenzung der Wirkung, und ob bei ungleichmäßigen Formen auch die gleiche Wärmeverteilung vorhanden ist.

In der vorliegenden Arbeit werden Versuchsergebnisse angeführt, die bei Subaqualer Diathermie gewonnen wurden. Die entsprechenden Erwärmungen im „Kurzwellen"-Condensatorfeld sind aus dem Schrifttum bekannt; es wurden die Erwärmungskurven von Schl. in die Arbeit aufgenommen. Wir erhielten in mehrfachen Versuchen ebenfalls die gleichen Ergebnisse.

Bei den Versuchen am lebenden Tier war zu beachten, daß durch den Blutkreislauf ein unerwartet rascher Wärmeausgleich erzielt wird.

> Der Wärmeausgleich durch das Blut hängt ab von der Reaktionsmöglichkeit der Wärmeregulation des Körpers. Beim narkotisierten Tier ist er in vermindertem Maße vorhanden (Rein, Rh.). Es ist daher notwendig, bei einer lokal begrenzten Diathermie eine Erwärmung in der Zeiteinheit zu erzielen, welche groß genug ist, die Kühlwirkung des Blutes zu unterdrücken.

Bei der Subaqualen Diathermie konnte außerdem durch die Temperatur der Lösung auch die Temperatur und Wärmeverteilung des Körpers beeinflußt werden.

> Bei der Verwendung einer entsprechenden Elektrolytlösung, wie sie oben beschrieben wurde (etwa 0,15% NaCl), erwärmt sich das Wasser weniger als der tierische Körper. Nur bei zu schwacher oder zu starker Lösung tritt eine Mehrerwärmung des Wassers auf.

Um die Frage zu klären, mit welchen gegenseitigen Einwirkungen bei den verschiedenen Temperaturunterschieden von Lösung und Körper zu rechnen ist, wurden Versuche durchgeführt, bei denen das Wasser die gleiche Anfangstemperatur hatte wie der Körper, solche, bei denen die Lösungstemperatur wie bei der praktischen klinischen Anwendung etwa 10° weniger betrug, und ferner Versuche mit starker, krasser Kühlung durch die Lösung.

Versuchsanordnung und Protokolle.

Apparate:

Für die Condensatorfeld-Behandlung verwandten wir einen „Ultrakurzwellen"-Röhrensender (3 m Wellenlänge) der Firma Lorenz mit einer Leistung von 1,5 KW in der von Esau angegebenen Schaltung, wie sie von Schl. eingehend beschrieben wurde.

Zur Subaqualen Diathermie benutzten wir einen großen chirurgischen Funkenstrecken-Apparat mit 900 W Leistung bei 30 Ohm und 300 m Wellenlänge.

Erwärmungen einzelner Körperstoffe.

Um gleichförmige, gleich große und gleich begrenzte Teile der betreffenden Organe untersuchen zu können, ließen wir uns ein zylinderförmiges Glasgerüst von 8 cm Länge und 3 cm Durchmesser anfertigen, welches aus 5 dünnen Glasstäben bestand, die oben und unten durch ebenso dünne Glasringe verbunden waren. Ueber dieses Glasgerüst wurde eine frische Darmhaut gespannt und von oben her ein feines Quecksilber-Thermometer eingeführt. Das Modell wurde mit Stücken der verschiedenen Organe, die aus einem größeren Block in ähnlicher Form herausgeschnitten und unter möglichster Schonung des Gewebes eingeführt worden waren, gefüllt, der Darm durch eine Tabaksbeutelnaht verschlossen und das Ganze bis zum oberen Rand in die Lösung eingetaucht. Beim Knochen konnten nur annähernd die gleichen Verhältnisse hergestellt werden. In ein 8 cm langes und 2,5 cm dickes Stück einer menschlichen Tibia wurde in das Mark ein Thermometer eingebohrt; die Poren des Marks wurden durch hereingepreßtes Fett abgedichtet und der Knochen ohne das Glasmodell genau wie dieses senkrecht in die Lösung eingelassen.

Die Behandlung erfolgte in einem Glasgefäß von etwa 18×12 cm Bodenfläche und 11 cm Höhe mit einem Inhalt von 2400 ccm. Die Elektrodenplatten bedeckten die Schmalseiten des Gefäßes vollständig. Das Modell wurde in die Mitte des Gefäßes eingetaucht, der Abstand bis zu den Elektrodenplatten betrug beiderseits etwa 7 cm.

Die Anfangstemperaturen von Lösung und Körper wurden ausgeglichen; die Behandlungsdauer war bei allen Versuchen 4 Minuten.

Die Conzentration der Lösung entsprach jeweils der Leitfähigkeit des zu behandelnden Organes. Es wurde für den Knochenversuch eine 0,025%ige, für das Fett eine 0,05%, für die Leber eine 0,2 % und für den Muskel eine 0,5% NaCl-Lösung verwendet.

Dabei muß hervorgehoben werden, daß die erforderlichen Lösungen für die einzelnen Modelle nochmals besonders angeglichen wurden. Die gefundenen Werte sind nicht absolut für die Körpergewebe gültig. Die Leitfähigkeit ändert sich stark nach dem Tode und der Entnahme der Gewebe aus dem Körper. Eine 0,05%ige NaCl-Lösung ist in ihrem Leitwert nicht dem Fett im Körperzusammenhang gleichzusetzen. Bei unmittelbar nach dem Tode entnommenen Körperfett wurde von Rh. eine 0,17%ige NaCl-Lösung als die richtige errechnet. Trotzdem wurde das Fett in dieser Form verwendet, da wohl auch Schl. die Vergleichswerte an dem gleichen Material gewonnen hat.

Die dem Körpergewebe bei der angewandten Stromart im spezifischen Leitwert entsprechenden NaCl-Lösungen wurden durch eine Nullpunkt-Meßmethode ermittelt. Das Behandlungsgefäß wurde dazu bis an den Rand mit den verschiedenen Kochsalzlösungen gefüllt, und durch Eintauchen der Modelle jedesmal eine dem Volumen des Modells äquivalente Menge Wasser durch Ueberlaufen verdrängt. Es wurde vorher und nachher bei voller Apparatleistung die Ampere-Zahl abgelesen, und diejenige Lösung als Lösung gleichen Leitwertes mit dem Modell angesehen, bei der nach Eintauchen des Modells der gleiche Amperemeter-Ausschlag bestehen blieb wie vorher.

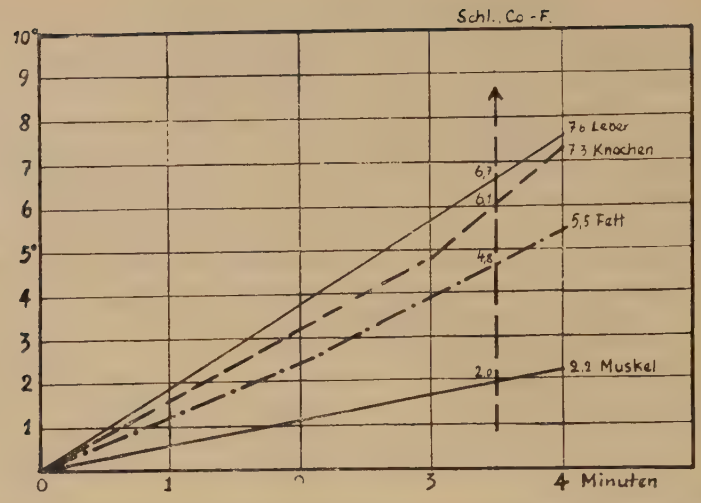


Abbildung 2: Subaquale Diathermie einzelner Körperstoffe in einer Elektrolytlösung von gleichem Leitwert.

Die Apparatstärke wurde so reguliert, daß bei allen Versuchen die gleiche Stromdichte vorhanden war. Diese betrug umgerechnet auf Ampere pro qcm etwa 0,03 und wurde mit einer „Stromsonde" gemessen.

Der gefundene Wärmeanstieg in den einzelnen Modellen wurde in eine Kurve eingetragen; bei dem Leberwert 6,7, welchen Schl. in seiner Erwärmungsreihe im Condensatorfeld für die Leber angegeben hat, wurde die Ordinate errichtet, und die auf sie fallenden Erwärmungswerte der übrigen Körperstoffe den betreffenden Werten bei der Condensatorfeld-Behandlung gegenübergestellt.

Abbildung 3

Körperstoffe	Leber	Knochen	Fett	Gehirn	Haut	Muskel
Platten-Diathermie	2	8	24	1,5	2,5	0,7
Condensator-Feld	6 7	6,4	5,7	3,9	2,5	2,3
Subaquale Diathermie	6,7	6,1	4,8	—	—	2,0

Erwärmung einzelner Körperstoffe mit Platten-Diathermie, im Condensatorfeld und mit Subaqualer Diathermie.

Erwärmungen einzelner Körperteile und Vorversuche an Modellen.

Bei den Vorversuchen kam es darauf an, ein Modell zu nehmen, das für die Subaquale Diathermie und die Condensator-Feld-Behandlung eine gleichartige Versuchsanordnung ermöglichte. Wir nahmen zu dem Zweck eine 16 cm lange und 2 cm dicke Wurst, welche der Länge nach in Abständen von je 1 cm durch Fäden markiert wurde. (s. Abbildg. 4.)

Um die Wirkung beider Methoden auch an einem Modell von ungleichmäßiger Gestalt vergleichen zu können, ließen wir uns ein zweites Wurstmodell anfertigen, mit einem Zapfen von 2 cm Durchmesser und 2 cm Länge. Die Dicke der Wurst in der Mitte längs durch den Zapfen hindurch betrug demnach 4 cm. Dieses Modell wurde in der gleichen Weise wie bei dem vorigen Versuch in der Länge nach cm eingeteilt. (s. Abbildung 5.)

Für die Plattenform und –Größe, die natürlich für die beiden Methoden dieselben sein mußten, wurden für die Subaquale Diathermie zwei Elektroden angefertigt, die in Form und Ausmaßen den kreisförmigen Platten des Condensatorfeldes (Durchmesser = 8 cm) glichen.

Die beiden Wurstmodelle (Länge = 16 cm s. o.) wurden zwischen diesen Platten an dünnen Fäden horizontal aufgehängt, wobei sie die Platten in beiden Fällen zu beiden Seiten um 4 cm überragten.

Der Abstand zwischen den Condensator- bzw. Elektrodenplatten und der Wurst war bei dem ersten Modell beiderseits = 1,5 cm, bei dem zweiten Modell zwischen der Rückenseite und der Zapfenspitze einerseits und den Condensatorplatten andererseits ebenfalls = 1,5 cm.

Für die S.-D. wurde ein längliches Glasgefäß gewählt, welches es gestattete, die Elektroden an der Glaswand anliegen zu lassen und gleichzeitig dieselben Abstandsverhältnisse zu gebrauchen wie im Co.-F. Der Wasserstand war so hoch, daß die Elektroden vollständig eintauchten. Die Conzentration entsprach etwa der Leitfähigkeit des Objektes. Die Temperatur wurde mittels einer zu einem Thermo-Element umgearbeiteten Injekionsnadel und einem Drehspul-Galvanometer der Firma Phywe, das eine Empfindlichkeit von 10^{-7} hatte und $^1/_{20}°$ anzeigte, gemessen, indem die Nadel an jeder Markierungsstelle in das Objekt eingestochen wurde. Die Meßpunkte am Zapfen bei dem zweiten Modell lagen 1) in der Nähe des Ansatzes, 2) in der Mitte und 3) in der Spitze des Zapfens. In beiden Versuchen und bei beiden Methoden wurde die gleiche Versuchsdauer innegehalten.

Bei den Versuchen an einzelnen Körperteilen handelt es sich um Untersuchungen an menschlichen und tierischen Gliedmaßen und an narkotisierten Tieren.

Für die Versuche mit amputierten Gliedern war es von Wichtigkeit, lebensfrisches Material zu verwenden, da wir auch an eigenen Versuchen sehen konnten, daß sich die Leitfähigkeit der Körpergewebe bald nach dem Tode wesentlich veränderte.

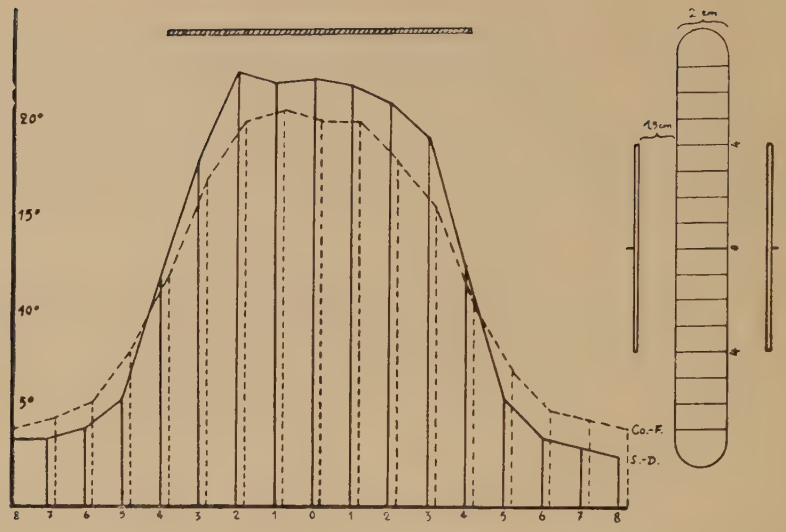


Abbildung 4: Abgrenzung der Wärmewirkung bei Subaqualer Diathermie und im Ultrakurzwellen-Condensator-Feld in einem gleichmäßigen Modell.

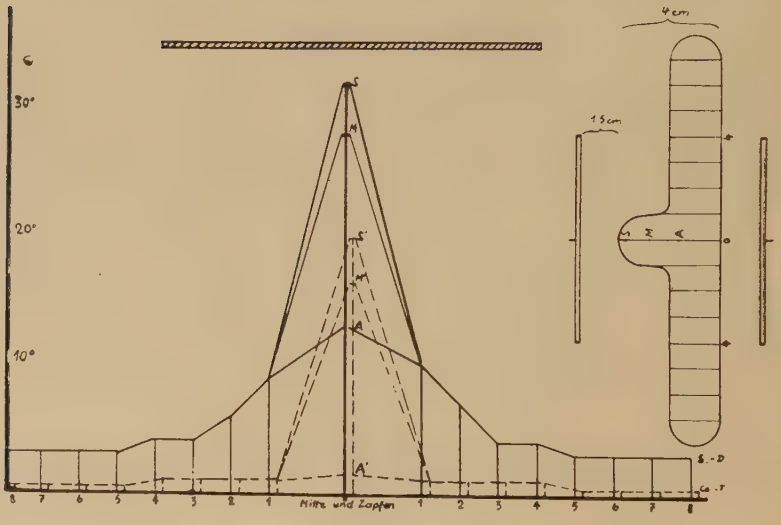


Abbildung 5: Leistungsverteilung bei Subaqualer Diathermie und im Ultrakurzwellen-Condensator-Feld im ungleichmäßig gestalteten Modell.

In die im Operationssaal amputierten Glieder wurden unmittelbar nach der Operation im Laboratorium die Thermometer an den angegebenen Stellen versenkt, die Haut überall dicht verschlossen und mit den Versuchen baldmöglichst begonnen. Bei weiteren Versuchen mit demselben Modell wurde dieses vorher wieder auf etwa 20° abgekühlt.

Als Versuchstiere dienten mit Aether narkotisierte Katzen und Kaninchen. Bei den amputierten Gliedern von Tieren handelte es sich um solche Tiere, die gerade vorher getötet worden waren.

Je nach dem Objekt wurden Gefäße von verschiedener Größe verwendet. Sie wurden so gewählt, daß zwischen den Platten und dem Körper beiderseits mindestens ein Zwischenraum von 2—3 cm bestand, und der Körper noch um 2—3 cm unter die Lösung getaucht werden konnte. Um Fehlerquellen zu vermeiden, die durch das Fell in Bezug auf Stromeintrittsverhältnisse und die Erwärmung der Haut verursacht werden konnten, haben wir die zu behandelnden Körperteile enthaart.

Für die Elektrolytlösung war von R h. diejenige Conzentration angegeben worden, bei welcher sich der Körper mehr erwärmt als das Wasser. Bei den ersten Versuchen wurde eine zu hohe oder zu tiefe Lösungsconzentration an der eigenen Hand auf Grund dieser allgemeinen Regel durch empirische Versuche vermieden. Später haben wir dann teils durch elektrische Leitfähigkeitsmessungen, teils auf chemischem Wege uns eine 0,15—0,2%ige NaCl-Lösung hergestellt.

Die Leistungen der Funkenstreckenapparate reichten für die Subaquale Diathermie nur bei Objekten bis zu etwa Armdicke aus. Bei Versuchen an größeren Objekten ließ sich nur in einer längeren Zeit eine Temperatursteigerung erzielen, die den bei kleineren Durchmessern gefundenen Werten entsprach. Aus diesem Grunde steigen die Kurven über die Erwärmung der Körperhöhlen und der amputierten menschlichen Gliedmaße wesentlich flacher an als die übrigen.

Die Temperaturen wurden an feinen, an den jeweils im Protokoll bezeichneten Stellen in das Objekt eingebundenen Quecksilberthermometern grundsätzlich in Abständen von 15 Sek. von mehreren Personen abgelesen und tabellarisch registriert.

Um die Einwirkung einer Lösungskühlung auf die Wärmeverteilung kennen zu lernen, haben wir Versuche durchgeführt, in denen von gleicher Anfangstemperatur in Objekt und Lösung ausgegangen wurde, außerdem Versuche, bei denen die Lösung, wie es praktisch bei der Anwendung der S.-D. geschieht, etwa 10° kälter war. Dabei wurde eine Kühlwirkung durch Rühren der Lösung oder Bewegen des Objektes möglichst vermieden. Dieses gelang bei lebenden Tieren nicht immer vollkommen. Sodann wurde in mehrfachen Versuchen absichtlich gekühlt. Dieses erfolgte durch Umrühren der Lösung mit Rührlöffel oder Pumpe (bei großen Gefäßen und verhältnismäßig kleinen Platten), sowie durch Zugießen kalter Lösung. Im letzten Fall wurde jedesmal die gleiche Lösungsmenge durch Ablassen warmer Lösung wiederhergestellt.

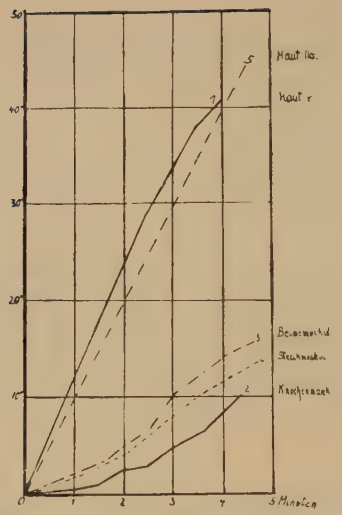


Abbildung 6: Wärmeanstieg im amputierten Unterschenkel bei Platten-Diathermie (n. Schliephake).

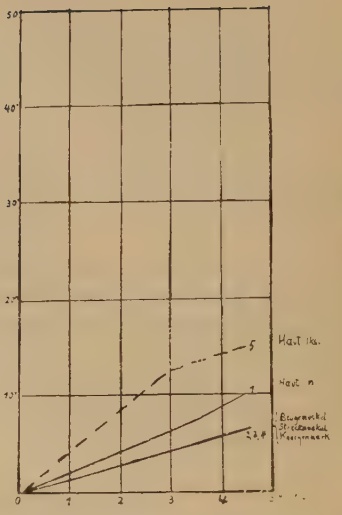


Abbildung 7: Wärmeanstieg im amputierten Unterschenkel im Condensator-Feld (n. Schliephake).

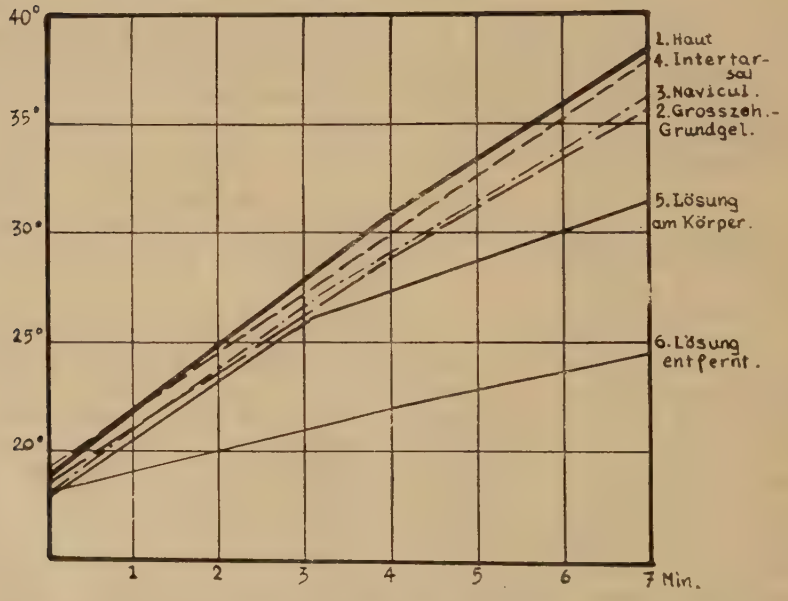


Abbildung 8: Subaquale Diathermie des menschlichen Vorfußes am amputierten Bein.

So wurde bei Abb. 14 (Amputierter menschlicher Unterschenkel) nach 5' nur durch Umrühren, dann nach 6' durch Nachfüllen neuer Lösung gekühlt, bei Abb. 15 (Bauchhöhle eines narkotisierten Kaninchens) bei 5'15" durch frische Lösung gekühlt.

Protokolle zu den Abbildungen 8 bis 14.

S.—D. des menschlichen Vorfußes (Abb. 8).

Das Modell war durch Unterschenkel-Amputation gewonnen.

Bodenfläche des Gefäßes = 30 × 20 cm, Wasserhöhe = 6 cm, Plattenfläche = 6 × 20 cm, Lösung = 0,15 % NaCl, Ampere = 6.

Die Platten waren an die langen Gefäßseiten angelehnt, und zwar so, daß der Vorfuß sich im Stromliniengang befand. Der Fuß stand mit den Zehen und mit der Hacke je auf einer Bindenrolle. Es wurde jedes Bewegen des Fußes vermieden. Thermometeranordnung: 1. Haut, subcutan, lateral innen, 2. Großzehengrundgelenk, 3. Os naviculare, 4. intertarsal II. und III., 5. Lösung (Thermometer außen an die Haut gebunden), 6. Lösung entfernt vom Körper, innerhalb des Stromliniengangs.

S.—D. im amputierten menschlichen Unterschenkel (Abb. 9).

(Die Versuchsanordnung entsprach der von S c h l. für seine Versuche angegebenen (vergl. Abb. 6 u. 7).

Plattenstand: seitlich.

Thermometeranordnung: 1. subcutan, an der medialen Seite, 2. in der Tibia, 3. in der Beuge-, 4. in der Streckmuskulatur, 5. subcutan, an der lateralen Seite, 6. Lösung.

Versuchsdauer = 5'.

S.—D. im Oberschenkel eines narkotisierten Kaninchens (Abb. 10).

Plattenstand: seitlich.

Thermometeranordnung: 1. subcutan an der Außenseite des Oberschenkels, 2. in der breiteren Muskelschicht, 3. im Femur, 4. Lösung.

Versuchsdauer = 3'30".

S.—D. in der Brusthöhle eines narkotisierten Kaninchens (Abb. 11).

Plattenstand: lateral.

Thermometeranordnung: 1. subcutan lateral, 2. in der Lunge (vom Hautschnitt aus durch die Pleura in die Lunge eingestochen), 3. Lösung.

Versuchsdauer = 6'.

S.—D. in der Bauchhöhle eines narkotisierten Kanninchens (Abb. 12).

Plattenstand: lateral.

Thermometeranordnung: 1. versenkt in die rechte Niere, 2. zwischen den Dünndarmschlingen, 3. subcutan r. lateral, 4. Lösung. Am Schluß des Versuches wurde die orale und rektale Temperatur des Tieres gemessen und in die Kurve aufgenommen.
Versuchsdauer = 12'30".

Kühlung bei S.—D., amputierter menschlicher Unterschenkel (Abb. 13).

Plattenstand seitlich in Höhe des mittleren Drittels wie Abb. 9.

Thermometeranordnung wie Abb. 6, 7 und 9.
Bei 5' Kühlung durch Umrühren, bei 6'—7'30" durch Zugießen frischer Lösung.
Gesamtdauer = 12'30".

Kühlung bei S.—D., Bauchhöhle eines narkotisierten Kaninchens (Abb. 14).

Plattenstand: lateral.

Thermometeranordnung: 1. subcutan über der Leber, 2. subcutan in der Mitte des Bauches, 3. zwischen dem Darm (3 und 4 von einem Hautschnitt in der Mitte des Bauches eingeführt), 4. Leber, 5. Lösung.
Kühlung bei 6' durch Zugeben frischer Lösung.

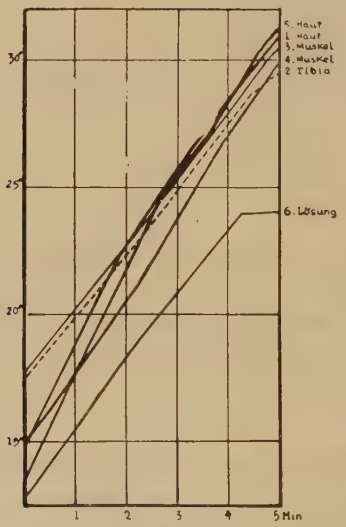


Abbildung 9: Subaquale Diathermie im amputierten menschlichen Unterschenkel. (Versuchsanordnung wie Schl. s. Abb. 6 u. 7.)

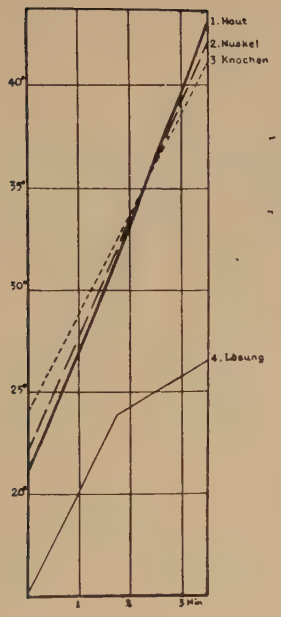


Abbildung 10: Subaquale Diathermie im Oberschenkel eines narkotisierten Kaninchens.

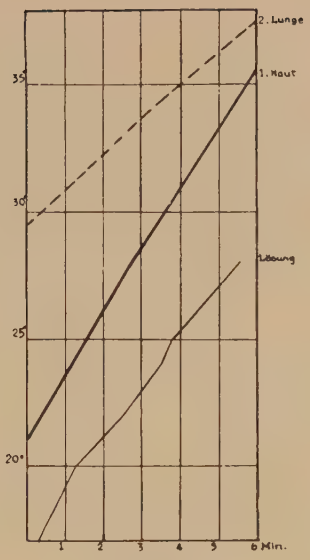


Abbildung 11: Subaquale Diathermie in der Brusthöhle eines nakotisierten Kaninchens.

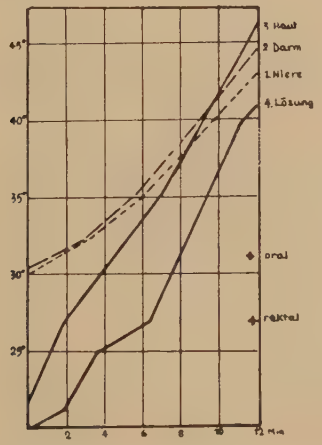


Abbildung 12: Subaquale Diathermie in der Bauchhöhle eines narkotisierten Kaninchens.

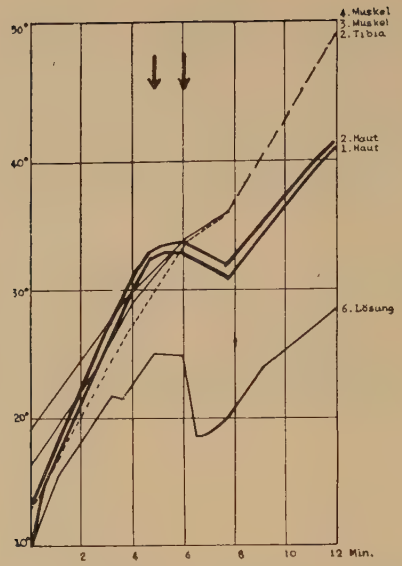


Abbildung 13: Kühlung bei Subaqualer Diathermie. Amputierter menschlicher Unterschenkel.

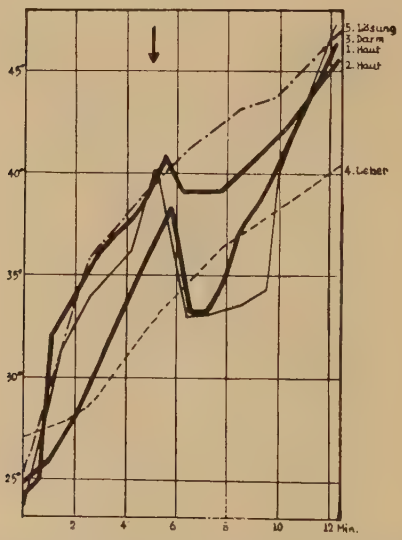


Abbildung 14: Kühlung bei Subaqualer Diathermie, Bauchhöhle eines narkotisierten Kaninchens.

Beurteilung.

Der Wärmeanstieg bei einer subaqualen „Langwellen"-Diathermie einzelner Körperstoffe in einer gleich leitenden Behandlungslösung entspricht nach unsern Versuchen den von Schl. im „Ultrakurzwellen"-Condensator-Feld gefundenen Werten weitgehend. Es ist eindeutig aus den Ergebnissen zu ersehen, daß die krassen Unterschiede zwischen Condensator-Feld- und Platten-Diathermie-Erwärmung, welche vor allem in einer relativ sehr starken Mehrerwärmung des Fettes bei der Platten-Methode zum Ausdruck kommen, bei einer Subaqualen-Diathermie nicht vorhanden sind.

Die wesentlichen Unterschiede in der Erwärmung durch eine Platten-Diathermie und im Condensator-Feld müssen demnach auch hierin auf die Art der Applikation zurückgeführt werden. Um die praktisch erheblich günstigere Erwärmung, wie sie Schl. im Co.-F. gefunden hat, zu erhalten, ist es nicht notwendig, „ultrakurzwellige" Ströme anzuwenden. Bei einer „S."-D. kann dasselbe mit den bisher üblichen „langwelligen" Diathermieströmen erreicht werden.

Wie bereits bei der Versuchsanordnung eingehend ausgeführt worden ist, wurde es nicht bezweckt, unter exakter physikalischer Durchführung absolute Erwärmungswerte für die „Langwellen"-Diathermie zu ermitteln; auch wurde die theoretische Möglichkeit nicht außer Acht gelassen, aus dem allgemeinen Charakter der angewandten Wechselströme eine verschiedene Erwärmungsweise für die Körperstoffe anzunehmen. Wenn es auch nicht möglich war, die absoluten Werte durch die vorliegenden Versuche genau zu bestimmen, so läßt sich doch mit Sicherheit daraus folgern, daß sie keineswegs groß sein können.

In den weiteren Modellversuchen fand sich bei beiden Methoden eine durchaus gleiche Abgrenzung der Wirkung, bzw. gleiche Streuung der Kraftlinien, sowie die gleiche Verteilung der Energie im ungleichmäßig konfigurierten Objekt.

Mit der Subaqualen-Diathermie konnte in den einzelnen Körperteilen eine gleichmäßige, alle Schichten erfassende Erwärmung erhalten werden.

Der Knochen blieb niemals merklich im Temperaturanstieg hinter seiner Umgebung zurück. Die Haut erwärmte sich nur wenig mehr. Auch an anderen Stellen des Körpers bestanden regelmäßig Unterschiede in der Erwärmung. Alle diese blieben jedoch in geringen Grenzen; sie sind ebenso bei der „Ultrakurzwellen"-Behandlung zu finden.

Das gleiche Verhalten im Co.-F. und bei der S.-D. geht insbesondere aus der Erwärmung des amputierten menschlichen Unterschenkels hervor (Abb. 9), welche bei derselben Thermometeranordnung durchgeführt wurde wie der Versuch Schl.'s. im Co.-F. (Abb. 7).

Die Erwärmung des Vorfußes (Abb. 8) wurde mit einer gleichen Anfangstemperatur aller Schichten einschl. der Lösung begonnen. Auch in diesem

Fall blieb die Lösungstemperatur unter der des Körpers. Das außen an die Haut gebundene Thermometer zeigt wesentlich niedere Werte als das knapp 1 cm davon entfernte, subcutan gelegene und alle übrigen innerhalb des Fußes.

Bei den Versuchen wurde das Behandlungsobjekt möglichst ruhig gehalten; eine Kühlung durch die Lösung ist daher, wie aus den Kurven hervorgeht, praktisch unbedeutend. Andererseits konnten wir durch starkes Rühren der Lösung (bei großem Gefäß und kleinen Platten), sowie durch Zugießen neuer kalter Lösung eine beträchtliche Kühlwirkung erzielen. Diese befällt nahezu ausschließlich die äußeren Schichten, während die tiefen sich gradlinig weiter erwärmen.

Mit einer S.-D. ist ebenso wie im Co.-F. die Möglichkeit zu einer ausreichenden Tiefenerwärmung der Brust- und Bauchhöhle gegeben, welche bei der bisherigen Diathermie ausgeschlossen war (Abb. 11, 12). Die starke Erwärmung der Brusthöhle hat das betr. Kaninchen gut vertragen; es erholte sich bald wieder und wurde zu weiteren Versuchen benützt. Auch die angeführte Diathermie der Bauchhöhle hatte nicht den Tod der Tiere zur Folge.

Es wäre nicht richtig, bei den Versuchen im Körperzusammenhang in den gefundenen Werten allein die Wirkung der Stromart zu sehen. Es müßten außerdem die verschiedenartigen Verhältnisse auf Grund der Form des Objektes und der neben- und hintereinander geschalteten Widerstände, sowie die Wärmeleitung und der Temperaturausgleich durch die Blutzirkulation berücksichtigt werden. Alle diese Momente waren in vielen von unsern Versuchen von besonderem, erheblichem Einfluß auf die Ergebnisse.

Bei einer allgemeinen Beurteilung der Befunde ergeben sich folgende Gesichtspunkte.

Es wurden bei einer entsprechenden Anwendung der Diathermie annähernd die gleichen Wärmewerte bei „langwelligen“ Wechselströmen erhalten, wie sie von Schl. bei „ultrakurzwelligen“ beschrieben worden sind.

Wir konnten bei unseren Versuchen in der Wärmeverteilung und in der charakteristischen Erwärmung einzelner Körpersubstanzen keine Unterschiede finden zwischen einer subaqualen „Langwellen“-Diathermie und einer „Ultrakurzwellen“-Condensator-Feld-Behandlung.

Die Erwärmungswerte, welche Schl. bei der „Ultrakurzwellen“-Behandlung gefunden hat, und die im krassen Gegensatz zu den Erwärmungen bei der Platten-Diathermie mit „langen“ Wellen stehen, zeigen demnach nicht den Unterschied zwischen einer „Ultrakurzwellen“-Behandlung und einer „Langwellen“-Diathermie, sondern zwischen einer Diathermie mit angelegten Elektroden und einer Diathermie im Condensator-Feld. Durch die S.-D. sind Applikationsverhältnisse geschaffen, die denen bei der Co.-F.-Behandlung in idealer Weise entsprechen, so daß man praktisch bei beiden Methoden mit einer gleichen Wirkung rechnen kann.

Unter einer **subaqualen Diathermie** wird dabei die Methode verstanden, wie sie von Rhenisch, v. Pannewitz, Hüttinger und Bremer durchgearbeitet wurde, d. h. eine Behandlung in einer ent-

sprechenden Elektrolytlösung, wobei die zur Anwendung kommende Stromstärke an der Stromdichte in der Lösung gemessen wird.

An Modellversuchen konnte gezeigt werden, daß bei der Subaqualen Diathermie eine ebenso scharfe Begrenzung der Wirkung besteht, wie bei der Condensator-Feld-Behandlung. An Modellen mit unregelmäßig gestalteten Formen ist eine gleiche Leistungsverteilung vorhanden.

In den einzelnen Körperteilen und Körperhöhlen findet sich die gleiche Wärmeverteilung bei Co.-F. und S.-D. Mit der S.-D. läßt sich dieselbe, gleich abgegrenzte Tiefenwirkung wie bei der „Ultrakurzwellen"-Behandlung erreichen.

Bei gleichen Anfangstemperaturen erwärmt sich die Lösung in der Regel weniger als der Körper; auch bei einer 10° kälteren Lösung, wie es bei der praktischen Anwendung der Methode in Frage kommt, ist keine wesentliche Veränderung des Erwärmungsbildes zu beobachten.

Andererseits kann gerade bei einer S.-D. durch besondere Kühlung die Erwärmung der oberflächlichen Schichten zurückgehalten werden.

Die Unterschiede, die theorethisch zwischen beiden Methoden hinsichtlich einer besonderen Wirkung von „ultrakurzwelligen" und „langwelligen" Wechselströmen gefolgert werden können, haben sich in keinem der unternommenen Versuche nachweisen lassen. Das mag darauf zurückzuführen sein, daß die Leitfähigkeit der einzelnen Stoffe zu wenig voneinander verschieden ist, um genügend große Differenzen auftreten zu lassen.

Im Körperzusammenhang werden andererseits durch den besonderen Stromliniengang, Wärmeleitung und Blutausgleich ganz beträchtliche, auch in unseren Versuchen deutlich hervortretende Veränderungen hervorgerufen. Es ist deshalb anzunehmen, daß die verschiedene Auswirkung der beiden Stromarten, falls sie mit feineren Methoden dargestellt werden könnte, demgegenüber praktisch unwesentlich bleibt.

Im Grunde genommen scheinen für beide Methoden dieselben Gesetze zu bestehen. Dafür spricht auch das mikroskopische Bild. Rhenisch und Macherey haben die gleiche Art der Zellveränderungen und die gleiche Lokalisation derselben bei der S.-D. und im Co.-F. gefunden. Wenn die relativ große Körperstrecken umfassenden mit Thermonadel und Thermometern vorgenommenen Messungen zu grob waren, um die von Schl. und Pä. gefolgerten Unterschiede im Stromdurchgang und der Wärmeverteilung bei der Behandlung darzustellen, hätten diese sich im mikroskopischen Bild zeigen müssen.

Wir kommen zu dem Schluß, daß die Wirkung der Subaqualen Diathermie nach den vorliegenden Versuchen in nichts von der „Ultrakurzwellen"-Condensator-Feld-Behandlung unterschieden werden konnte. Mit beiden Anwendungsarten läßt sich der gleiche günstige Effekt erzielen im Sinne einer wirklichen „Diathermie".

Zusammenfassung.

Bei einer entsprechenden Anwendung wurden keine Unterschiede in der Diathermie-Wirkung von „langwelligen“ und „ultrakurzwelligen“ Wechselströmen erhalten. Die krassen Unterschiede, welche zwischen einer „Ultrakurzwellen“-Condensator-Feld-Behandlung und der bisher üblichen Platten-Diathermie bestehen, sind nicht auf die Wirkungsweise der angewandten Ströme zurückzuführen, sondern auf die Verschiedenheit einer Diathermie mit angelegten Platten gegenüber einer Diathermie im Condensator-Feld. Mit einer Subaqualen Diathermie, d. h. mit einer Diathermie in einer Elektrolytlösung, welche etwa die gleiche Leitfähigkeit wie das Behandlungsobjekt besitzt, lassen sich auch bei den üblichen „langwelligen“ Diathermieströmen die gleichen Ergebnisse erzielen, wie bei einer Condensator-Feld-Diathermie mit „ultrakurzwelligen“ Strömen.

Bei beiden Methoden fanden sich annähernd die gleiche Erwärmung einzelner Körperstoffe und die gleiche günstige Tiefenerwärmung der Gliedmaßen und Körperhöhlen.

Aus Modellversuchen ergab sich die gleiche Abgrenzung der Wirkung und die gleiche Leistungsverteilung in unregelmäßigen Körperformen.

Bei der Subaqualen Diathermie besteht die Möglichkeit einer besonderen, erheblichen Kühlung der äußeren Schichten durch die Behandlungslösung.

Literatur-Verzeichnis.

Christi and Loomis: J. of exper. Med. Bd. 49, S. 303 (1929).

Nagelschmidt: Verh. Ges. Naturforsch. u. Aerzte, Königsberg (1930).

Rhenisch: Verhandlungsber. d. Deut. Röntgenges., Bd. 23, (1931).

Pätzold: Dissertation aus dem Techn. Physik. Institut. Jena (1930).

Schliephake: Die Methode der elektrischen Kurzwellenanwendung. Abderhaldens Handbuch der biolog. Arbeitsmethode.

Derselbe: Ztschr. f. d. ges. exp. Med., Bd. 66, S. 212 (1929).

Derselbe: Verhandlungsberichte der Deut. Röntgenges., Bd. 23 (1931).

Rhenisch, v. Pannewitz, Macherey erscheinen demnächst.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Professor Dr. Rehn meinen herzlichsten Dank für die Ueberlassung des Themas und Herrn Privat-Doz. Dr. von Pannewitz für die Uebernahme des Referats aussprechen.

Besonderen Dank schulde ich Herrn Dr. Rhenisch, Assistenzarzt an der Chirurgischen Klinik, für die Anregung und Unterstützung bei den Versuchen, sowie für die Durchsicht der Arbeit.

Lebenslauf.

Ich, Bernhard Bremer, wurde am 17. Dezember 1906 zu Dülmen als Sohn des prakt. Arztes Dr. Jos. Bremer geboren. Nach Absolvierung des dortigen Gymnasiums im Jahre 1926 studierte ich zunächst in Freiburg i. Br. bis zum S.-S. 1927 einschl. Mathematik. Dann wandte ich mich dem Studium der Medizin zu an den Universitäten München, Münster, wo ich am 22. Februar 1929 das Physikum bestand, Kiel und Freiburg. Am 6. Juli 1932 beendete ich das Medizinische Staatsexamen an der Universität zu Freiburg i. Br.